

Bericht aus dem

Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung  
der Technischen Hochschule Braunschweig

2123



"Untersuchungen über ungünstige Belastungsfälle  
bei Brandversuchen an Decken aus nebeneinander-  
liegenden Fertig-Balken oder -Platten"

o.Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen

Dr.-Ing. H.-J. Wierig

A p r i l 1959

Die Arbeiten wurden durchgeführt im Auftrag des  
Bundesministeriums für Wohnungsbau,  
Az. Nr. II/5 - 6073/71.

JK 620.193.5:001.5

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeines	2
2. Arbeitsplan	3
3. Beschreibung der Versuchsdecken	3
3.1 Großbrandversuche	3
3.11 Decke aus Stahlbetonhohlbalken	4
3.12 Decke aus Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028	4
3.13 Decke aus Porenbetonplatten	6
3.2 Kleinbrandversuche	6
4. Versuchseinrichtung	6
4.1 Großbrandversuche	6
4.2 Kleinbrandversuche	7
5. Meßergebnisse und Beobachtungen während der Brandversuche	12
5.1 Großbrandversuche	12
5.11 Versuchsdecke 3.11	12
5.12 Versuchsdecke 3.12	15
5.13 Versuchsdecke 3.13	17
5.2 Kleinbrandversuche	19
6. Auswertung der Meßergebnisse	23
7. Zusammenfassung	27

## 1. Allgemeines

Nach DIN 4102 "Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme" müssen feuerhemmende, feuerbeständige und hochfeuerbeständige Bauteile beim Brandversuch während der Prüfzeit unter der rechnerisch zulässigen Last ihre Tragfähigkeit bewahren und als raumabschließende Bauteile (z.B. Decken) außerdem den Durchgang des Feuers verhindern. Anforderungen in Bezug auf die Begrenzung der Deformationen der Bauteile während der Brandversuche werden in DIN 4102 bisher nicht gestellt.

Bei zahlreichen im Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig durchgeführten Brandversuchen zeigte sich, daß die Größe der Durchbiegung während des Brandes u.a. von der Spannweite, der Dicke, der Konstruktionsart, dem Baustoff der Decken, dem Putz und der Belastung abhängig ist. So wurden bei aufgelösten Deckenkonstruktionen (z.B. Hohlbalken) und bei massiveren Deckenplatten aus wärmeisolierenden Baustoffen (z.B. Porenbetonplatten) größere Durchbiegungen als bei anderen Decken beobachtet. Bei der Belastung tritt die Frage auf, wie sich Deckenkonstruktionen ohne ausreichende Querverteilung mit starker Durchbiegung beim Brande verhalten, wenn nicht die ganze Decke, sondern nur ein Deckenstreifen (z.B. eine Platte oder ein Balken) belastet wird. Falls sich der belastete Deckenstreifen sehr viel stärker durchbiegt als benachbarte Deckenteile, so besteht die Gefahr, daß an den Trennfugen Risse auftreten, die einen Durchtritt des Feuers ermöglichen und somit nicht "den Durchgang des Feuers" nach DIN 4102 verhindern.

Zur Klärung dieser Frage wurden Versuche an verschiedenen Decken durchgeführt und dafür Konstruktionen ausgewählt, bei denen auf Grund der Erfahrungen des Instituts eine verhältnismäßig große Deformation zu erwarten war.

## 2. Arbeitsplan

Der Arbeitsplan sah zunächst die Prüfung von vier verschiedenen Deckenkonstruktionen auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer in Großversuchen vor. Da sich auf Grund der Versuchsergebnisse der drei ersten Versuchsdecken herausstellte, daß durch die Prüfung einer weiteren Decke voraussichtlich keine neuen Ergebnisse gewonnen werden konnten, wurde auf die Unterder vierten Decke verzichtet und dafür 3 Kleinbrandversuche an auf Biegung beanspruchten Gasbetonplatten von 1,52 m Spannweite durchgeführt, da es bei diesen Kleinbrandversuchen möglich war, den Anteil der Durchbiegung infolge der Last und infolge der hohen Temperatur voneinander zu trennen. Auch der Einfluß des Putzes auf die Durchbiegung konnte bei diesen Kleinversuchen bestimmt werden.

## 3. Beschreibung der Versuchsdecken

### 3.1 Großbrandversuche

Es wurden drei Versuchsdecken, die an der Unterseite mit einem 1,5 cm dicken Kalk-Gips-Putz versehen waren, geprüft. Eine Übersicht über die untersuchten Deckenkonstruktionen gibt Zahlentafel 1, aus Abb. 1 sind die Querschnitte der Versuchsdecken zu ersehen.

Zahlentafel 1

Übersicht über die Versuchsdecken

Versuchs- decke Nr.	Deckenart	Abmessungen der Deckenteile in cm			rechn. Stütz- weite cm
		Dicke	Länge	Breite	
3.11	Stahlbetonhohl- balken	16	420	24	400
3.12	Stahlbetonhohl- dielen nach DIN 4028	13,5	420	33	400
3.13	Porenbetonplatten	10	300	50	262

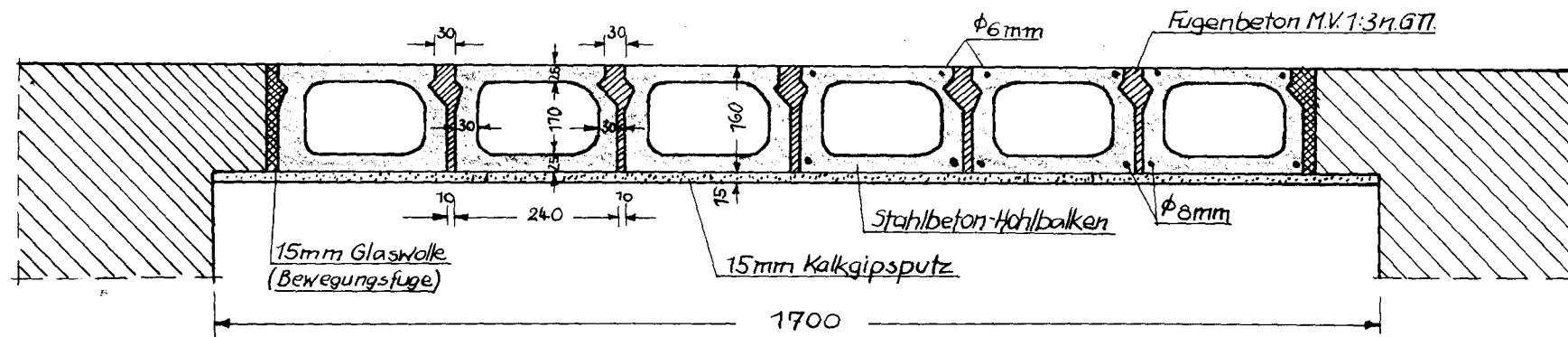
### 3.11 Decke aus Stahlbetonhohlbalcken

Die Versuchsdecke setzte sich aus sechs nebeneinanderliegenden Stahlbeton-Hohlbalcken 16 x 24 cm zusammen. Die Wandungen waren an den Breitseiten (oben und unten) 2,5 cm, an den Schmalseiten (rechts und links) 3,0 cm dick. Jeder Balken hatte in der Zugzone eine Bewehrung aus 2 Stählen  $\varnothing$  8 mm B.St.III b (Torstahl). Der Abstand der Hohlbalcken betrug 25 cm. Die Fugen zwischen den Balken wurden mit einem Mörtel aus Zement und Betonsand 0 - 7 mm im Mischungsverhältnis 1 : 3 nach Gewichtsteilen vergossen. Fugenausbildung sowie der Querschnitt der Versuchsdecke siehe Abb. 1.

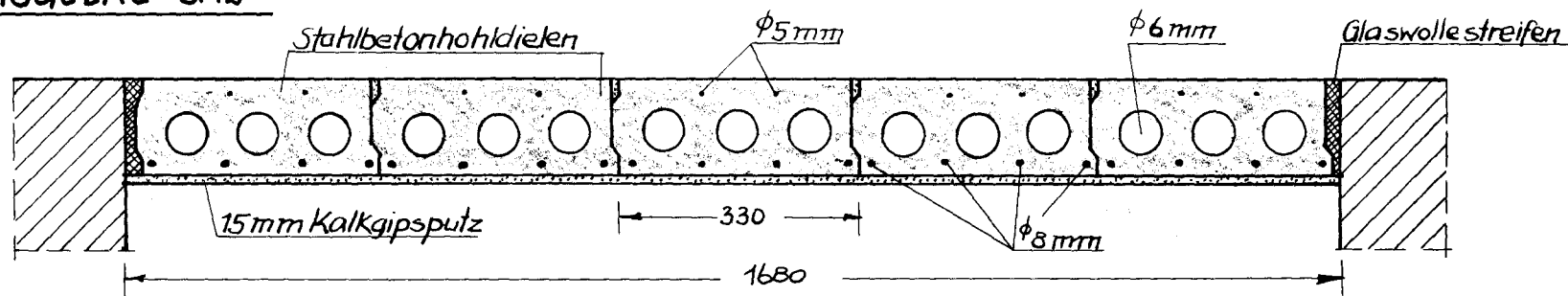
### 3.12 Decke aus Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028

Die Versuchsdecke bestand aus fünf 33 cm breiten, 13,5 cm dicken und 4,20 m langen Stahlbetonhohldielen. Als Bewehrung waren in jeder Hohldiele in der Zugzone 4 Stäbe  $\varnothing$  8 und in der Druckzone als Transportbewehrung 2 Stäbe  $\varnothing$  5 B. St. I eingelegt. An der Unterseite wurden die Hohldielen werkseitig - in Abweichung von DIN 4028 mit einem ca. 5 mm dicken Glättputz versehen. In jeder Stahlbetonhohldiele befanden sich drei kreisförmige, in Längsrichtung durchgehende Hohlräume. Der Einbau der einzelnen Hohldielen erfolgte so, daß die profilierten Ränder knirsch aneinanderstießen und dann in ihrem oberen Drittel vermörtelt wurden. Fugenausbildung sowie Querschnitt der Versuchsdecke siehe Abb. 1.

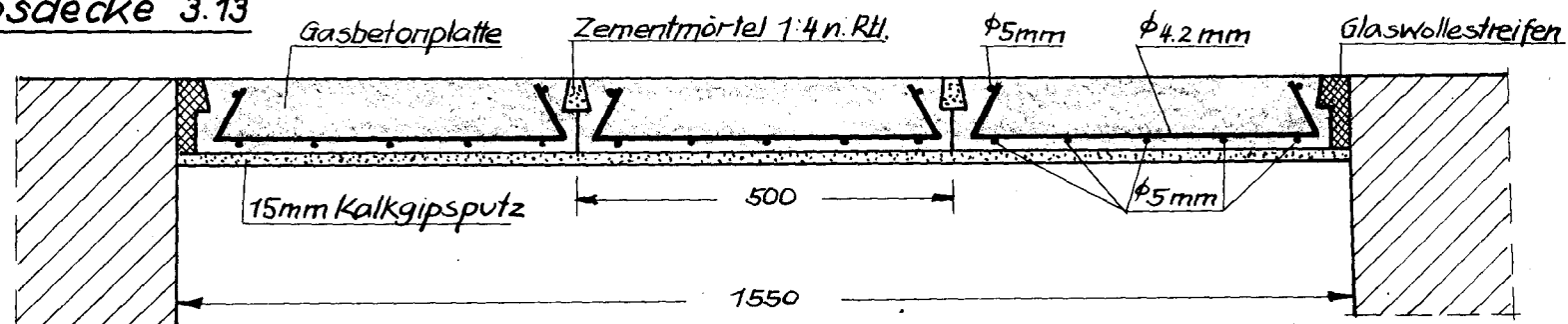
### Versuchsdecke 3.11



### Versuchsdecke 3.12



### Versuchsdecke 3.13



### 3.13 Decke aus Porenbetonplatten

Die Versuchsdecke bestand aus drei nebeneinanderliegenden Platten aus dampfgehärtetem Porenbeton. Die Abmessungen jeder einzelnen Platte betrugen 300 x 50 x 10 cm. An den Längsrändern waren die Platten mit Falzen versehen, so daß beim Nebeneinanderlegen von 2 Platten eine nach oben offene U-förmige Fuge entstand, die mit Zementmörtel 1 : 4 n. Rtl. vergossen wurde. Die Bewehrung jeder Platte bestand an der Plattenunterseite (Zugzone) aus 5 Rundstählen  $\varnothing$  5,0 mm aus B.St. IVb (Baustahlgewebe). Querschnitt der Versuchsdecke s. Abb. 1. Das Raumgewicht der Porenbetonplatten betrug im lufttrockenen Zustand  $900 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2 Kleinbrandversuche

Für die drei Kleinbrandversuche wurden Platten aus dampfgehärtetem Porenbeton der gleichen Art wie für die Großbrandversuche verwendet. Die im Anlieferungszustand 3,00 m langen Platten wurden auf eine Länge von 1,65 m abgeschnitten. Eine der drei Platten wurde an der Unterseite mit einem 1,5 cm dicken Kalk-Gips-Putz versehen.

In Zahlentafel 2 sind die drei Versuchsplatten für die Kleinbrandversuche zusammengestellt.

#### Zahlentafel 2

Versuchsplatten für die Kleinbrandversuche

Versuchsplatte Nr.	Verputzt	Belastet
3.21	nein	nein
3.22	nein	ja
3.23	ja	ja

### 4. Versuchseinrichtung

#### 4.1 Großbrandversuche

Für die Brandversuche bauten Facharbeiter des Instituts die Versuchsdecken als oberen horizontalen Raumabschluß in vorschriftsmäßige Brandkammern ein.

Die Messung der Temperaturen in den Brandkammern erfolgte mit Thermoelementen, die im Abstand von etwa 10 cm von den Versuchsdecken angebracht waren. Auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Decken wurden die Temperaturen an mehreren Stellen mit Cu.-Konst.-Thermoelementen gemessen. Diese gleichmäßig über die Oberfläche der Versuchsdecken verteilten Thermoelemente lagen unter kleinen Asbestplättchen von 4 x 4 x 0,5 cm, um eine Wärmeabstrahlung von der dem Feuer abgekehrten Seite zu verhindern.

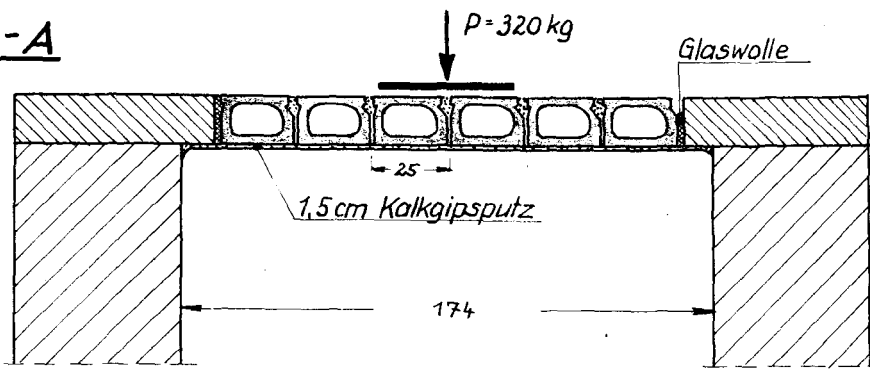
Die Versuchsdecken standen während der Prüfung in Abweichung von DIN 4102 nicht unter der vollen rechnerischen Last, sondern es wurde jeweils nur ein Teilstreifen der Decken mit der auf ihn entfallenden vollen rechnerisch zulässigen Last belastet. Die Anordnung der Temperaturmeßstellen und der Belastung sowie die Spannweite der Decken sind aus den Abb. 2 bis 4 zu ersehen. Die Durchbiegung der Decken wurde in Feldmitte der Spannweiten an drei Stellen, von denen eine im belasteten Mittelstreifen lag, gemessen. Geheizt wurde bei den Brandversuchen mit Öl. Die drei Versuchsdecken wurden nach Beendigung der Feuerbeanspruchung der Löschwasserprobe nach DIN 4102, Blatt 3 unterzogen.

#### 4.2 Kleinbrandversuche

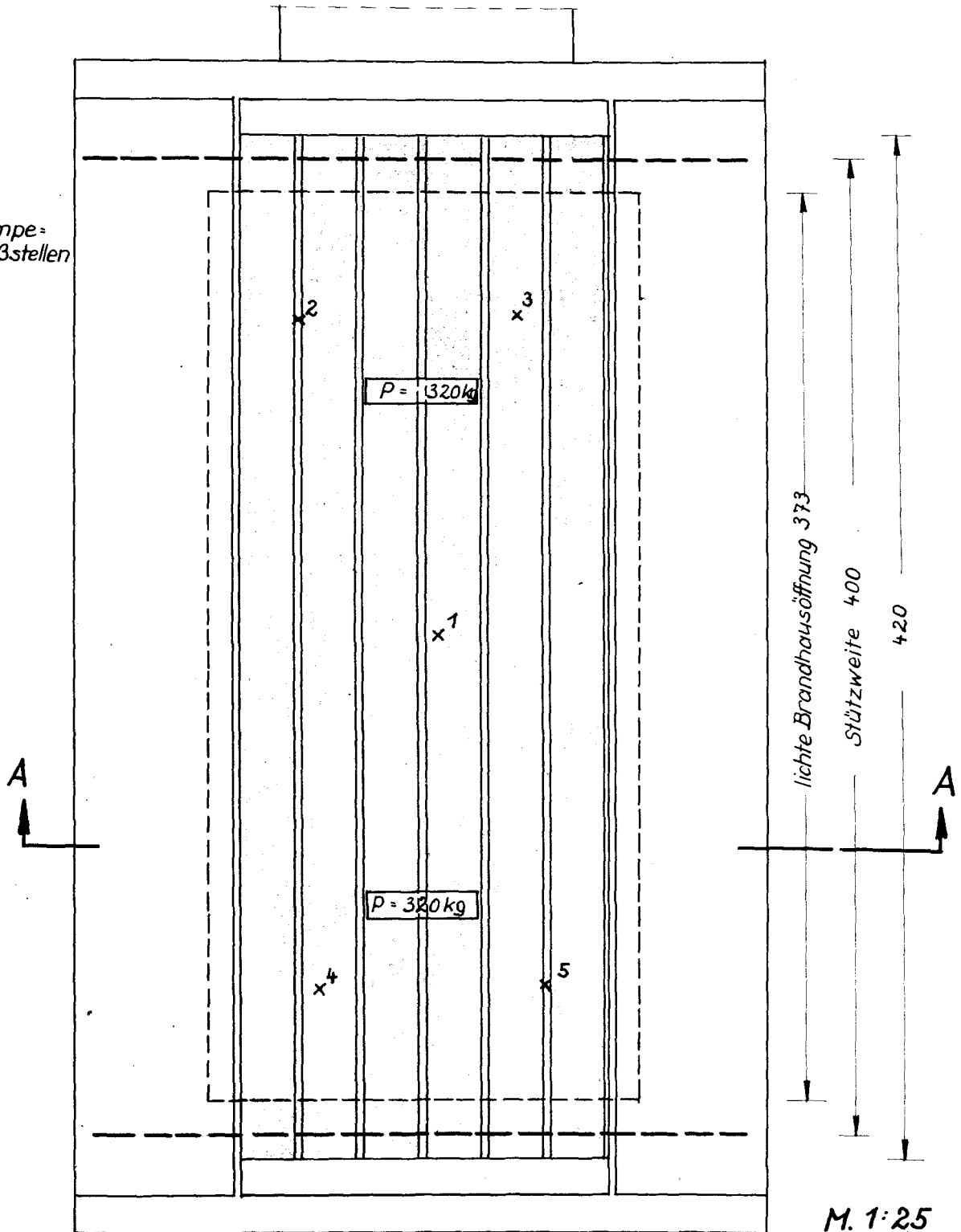
Zu den Kleinbrandversuchen wurden die drei Versuchsplatten 3.21 bis 3.23 als oberer Raumabschluß mit einer Spannweite von 1,52 m in einen Kleinprüfstand eingebaut. Die Temperaturmessung in der Brandkammer erfolgte in 10 cm Abstand von den Versuchsplatten. Die Platten 3.22 und 3.23 wurden in Feldmitte belastet, die Platte 3.21 blieb unbelastet. Die Durchbiegung der Platten wurde in Feldmitte gemessen. Die Beheizung des Brandhauses erfolgte mit Ölfeuerung. Die Versuchseinrichtung für die Kleinbrandversuche s. Abb. 5.



Schnitt A-A

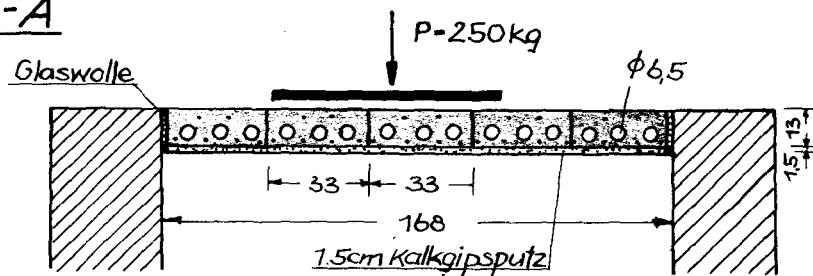


× 1-5 Temperaturmeßstellen

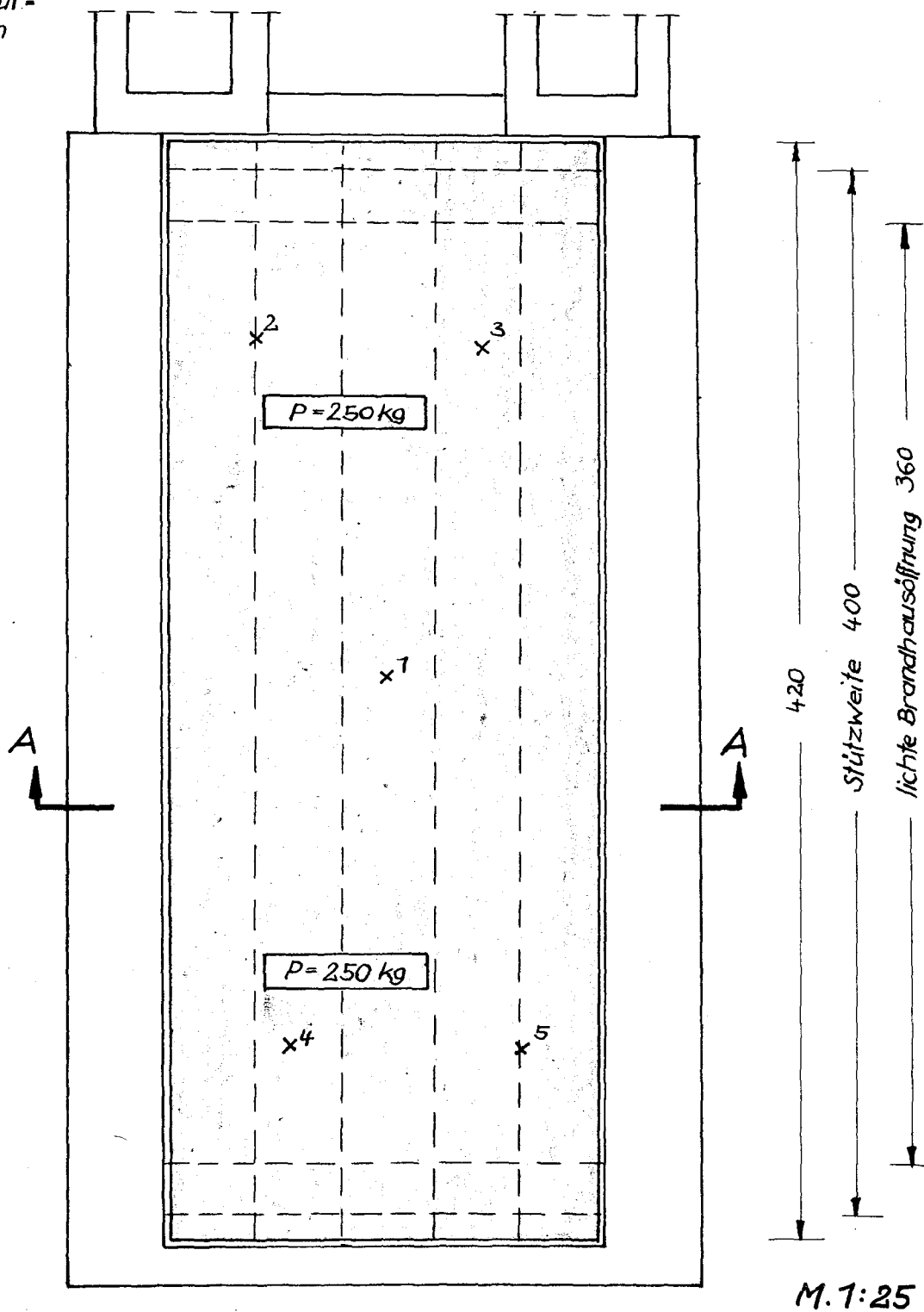


M. 1:25

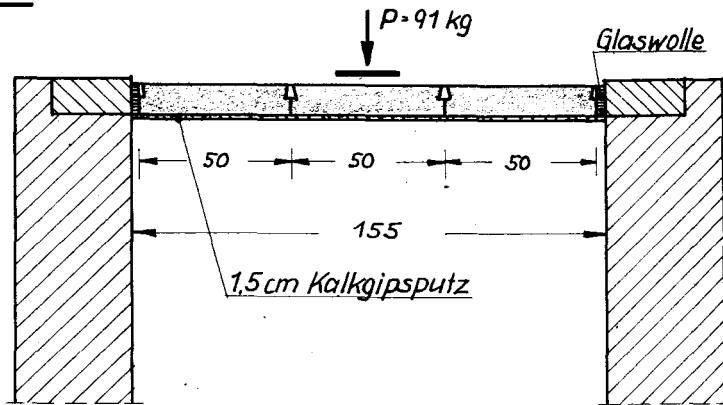
# Schnitt A-A



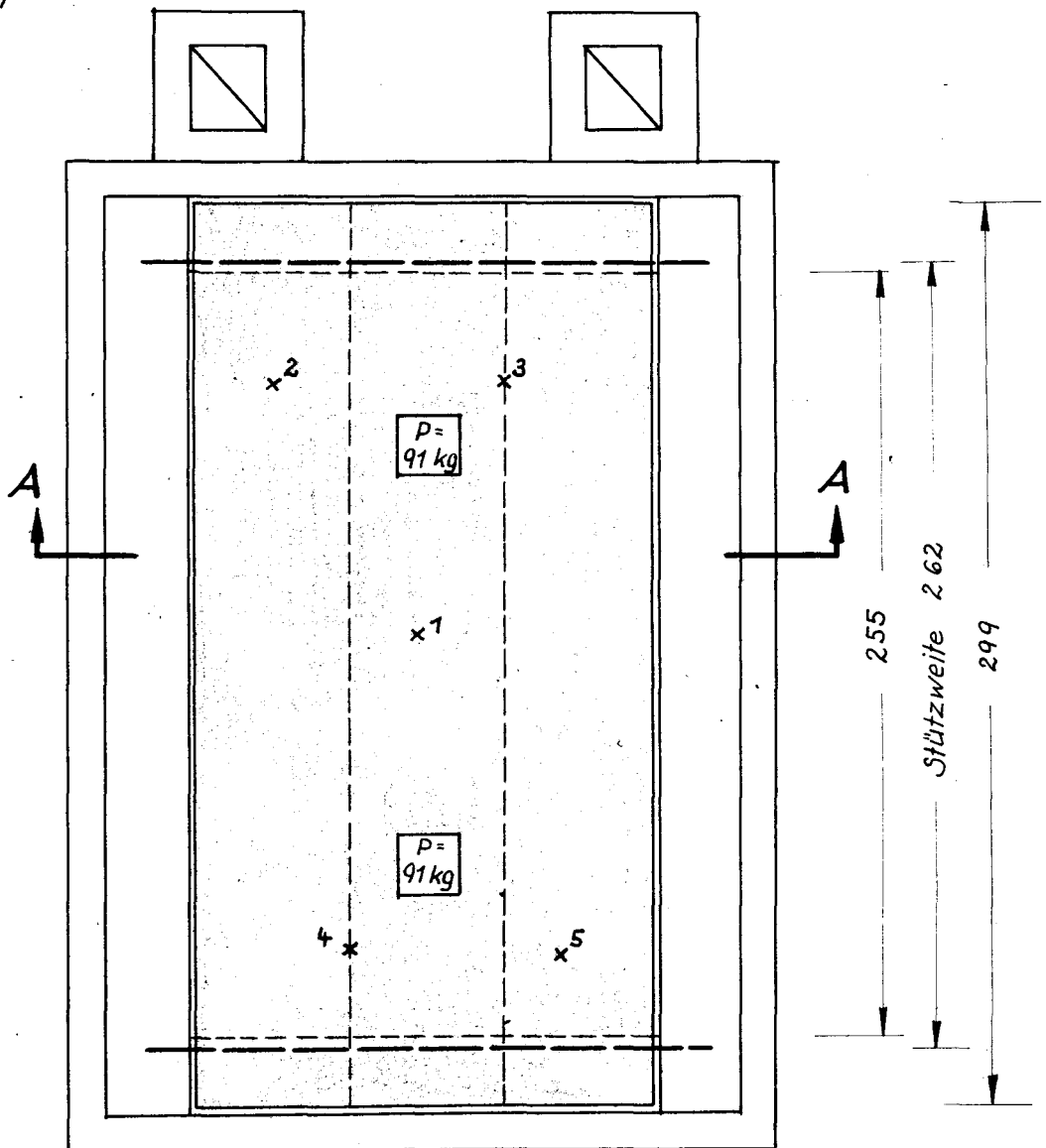
x1-5 Temperatur-  
meßstellen



# Schnitt A-A

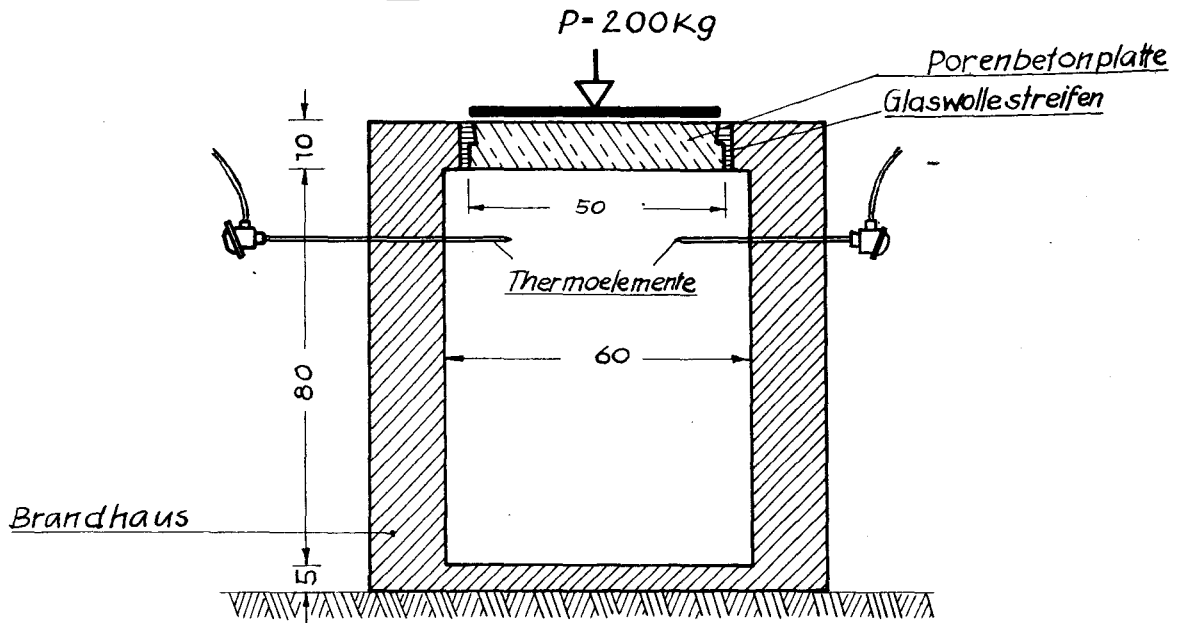


×1 - 5 Temperatur-  
meßstellen

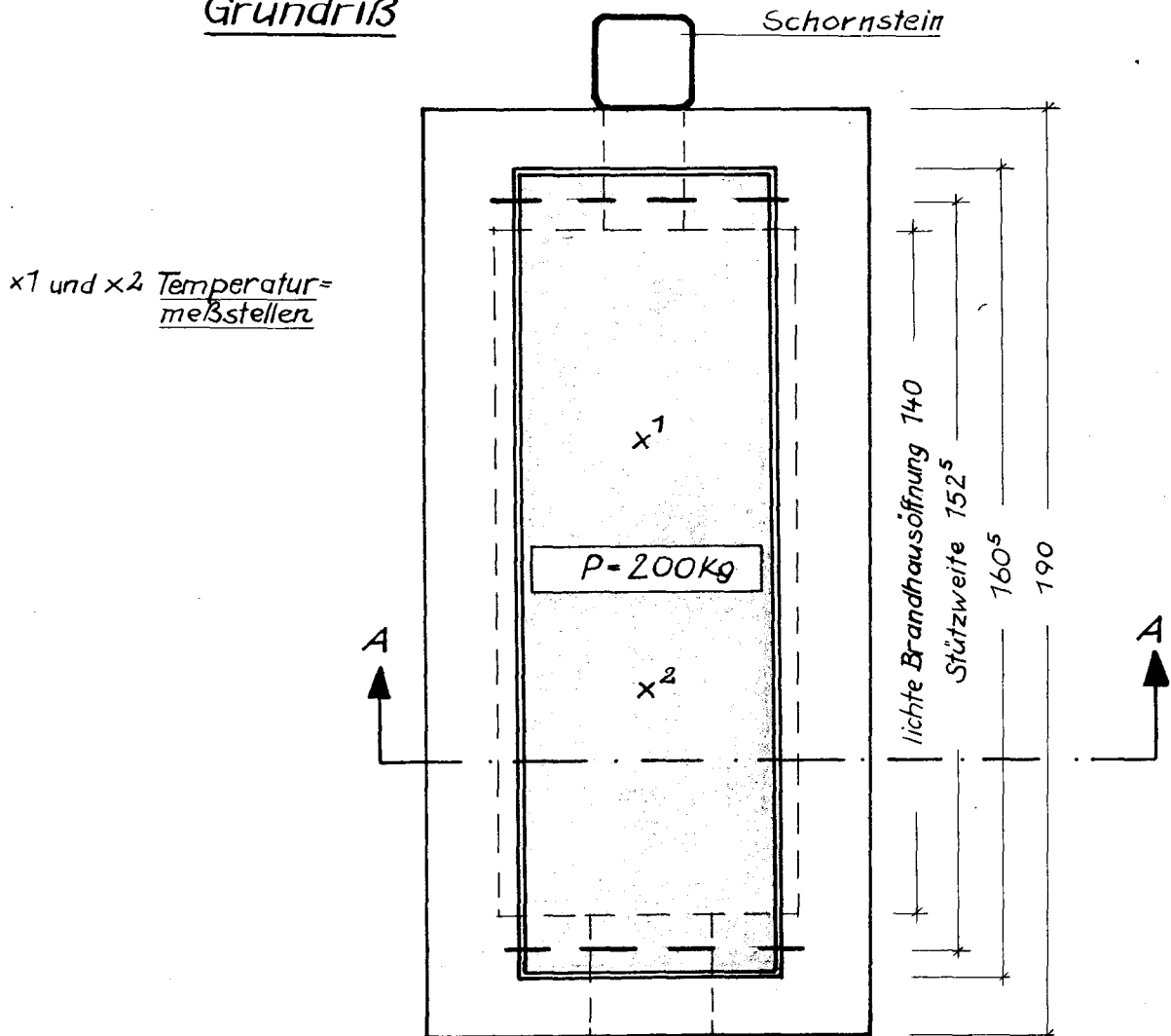


M. 1:25

### Schnitt A-A



### Grundriß



M. 1: 15

Maße in cm

## 5. Meßergebnisse und Beobachtungen während der Brandversuche

### 5.1 Großbrandversuche

Die während der Brandversuche gemessenen Temperaturen und Durchbiegungen sind in den Zahlentafeln 3 bis 5 zusammengestellt und in den Abb. 6 bis 8 graphisch aufgetragen.

#### 5.11 Versuchsdecke 3.11 (Decke aus Stahlbetonhohlbalcken)

##### Zahlentafel 3

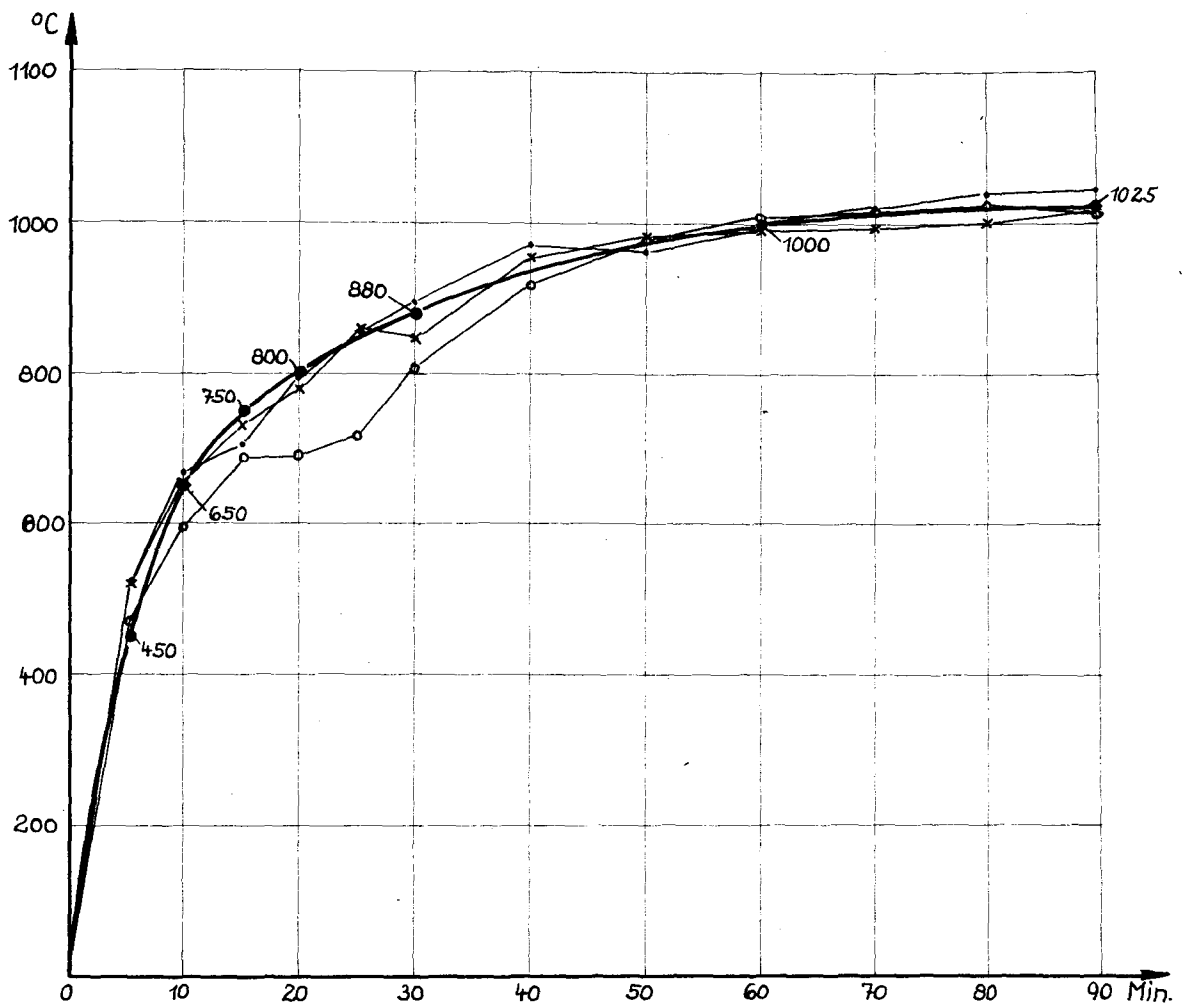
Meßergebnisse an der Versuchsdecke 3.11  
Außenlufttemperatur während des Versuches 13°C

Versuchs- dauer in Min.	Temperatur in der Brandkammer in °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abgek. Seite °C **)	Durchbiegung der Decke in mm		
			***) links	****) Mitte	***) rechts
0	-	-	0	1	0
5	523	-	2	2	2
10	668	-	8	8	8
15	707	-	20	20	20
20	797	19	32	32	30
25	858	31	40	40	35
30	897	46	47	47	41
40	973	54	68	67	61
50	966	63	81	80	74
60	1003	72	92	94	86
70	1021	82	102	104	96
80	1041	87	110	112	103
90	1044	91	118	121	112
nach der Löschwasserprobe			120	122	113
24 Stunden n.d. Brandversuch			56	56	53
nach Entfernung der Last					

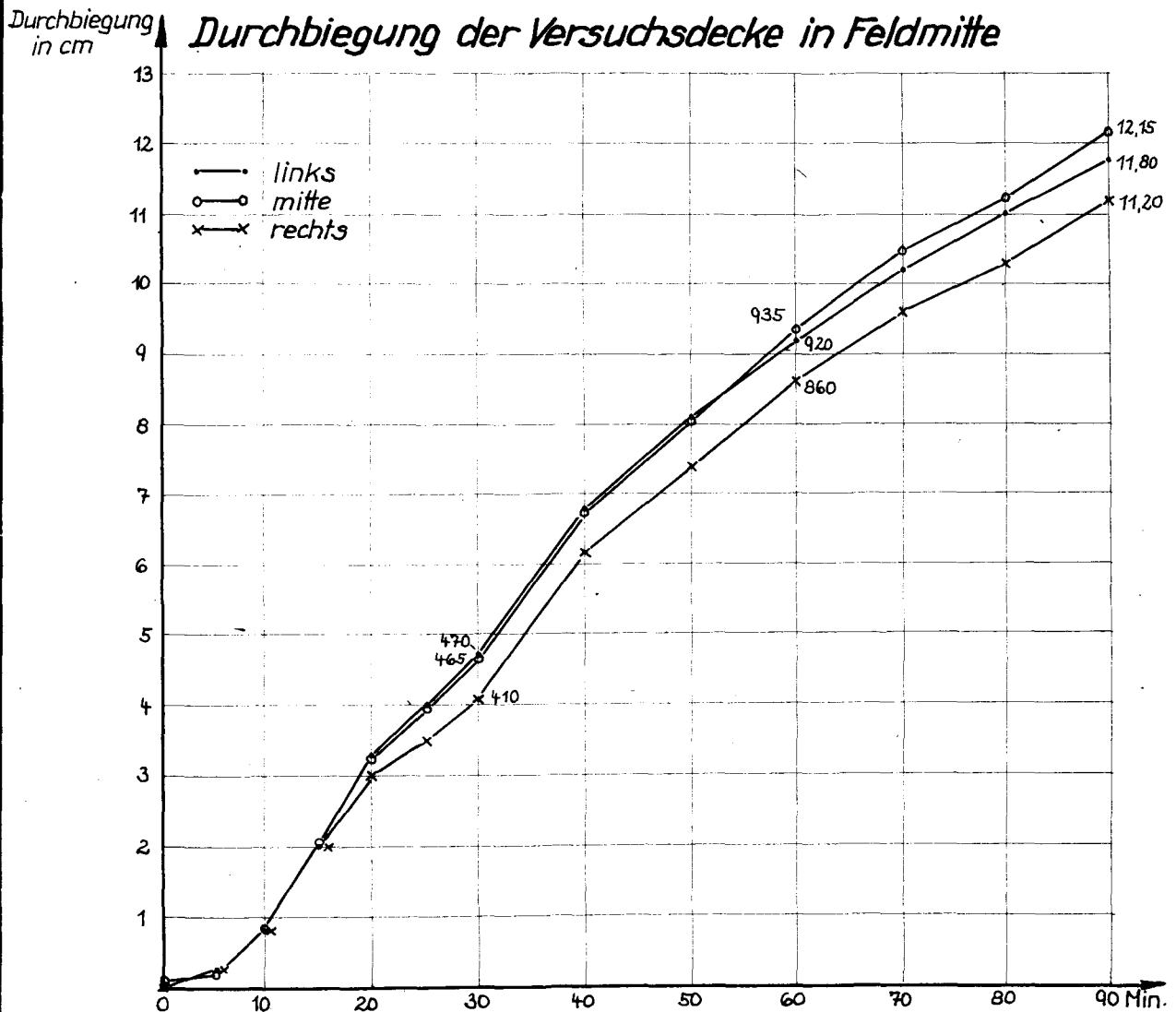
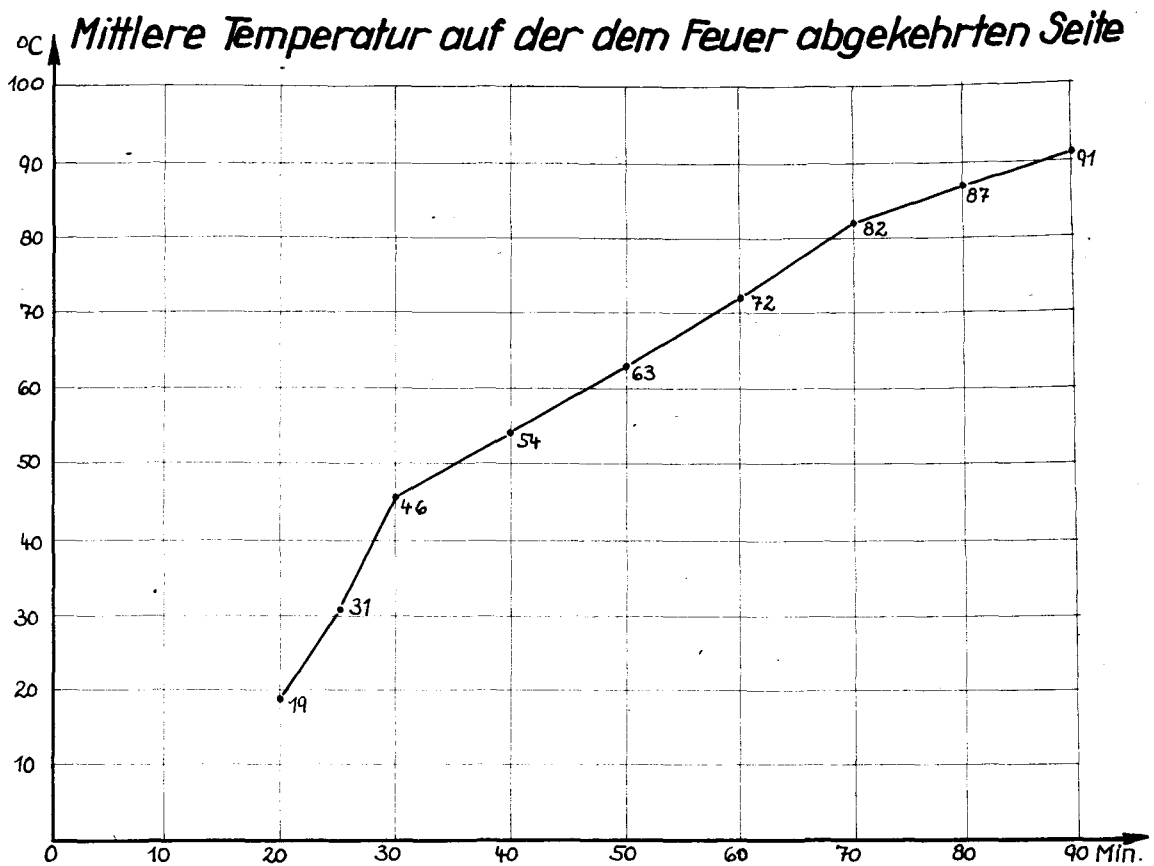
- \*) Mittel aus 6 Meßstellen  
 \*\*) Mittel aus 5 Meßstellen  
 \*\*\*) unbelastete Deckenstreifen  
 \*\*\*\*) belasteter Deckenstreifen

##### Beobachtungen:

Zwischen der 6. und 14. Minute nach Versuchsbeginn fiel der gesamte Putz unter der Versuchsdecke ab. In der 25. Minute bildete sich in der Fuge zwischen den beiden belasteten Balken ein Riß, aus dem Kondenswasser entwich. In der 50. Minute klappte dieser Riß um etwa 4 bis 5 mm weiter auf. 90 Minuten nach Beginn des Brandversuches wurden die Ölbrenner abgestellt und die Versuchsdecke der Löschwasserprobe nach DIN 4102, Blatt 3 unterzogen. Dabei fielen die restlichen noch haftenden kleinen Putzstücke ab.



- Einheitstemperaturkurve DIN 4102, Blatt 3
- - - Versuchsdecke 3.11: (Stahlbetonhohlbalcken)
- x - x Versuchsdecke 3.12: (Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028)
- o - o Versuchsdecke 3.13: (Porenbetonplatten)



5.12 Versuchsdecke 3.12 (Decke aus Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028)

Zahlentafel 4

Meßergebnisse an der Versuchsdecke 3.12

Außenlufttemperatur während des Versuches: 10°C

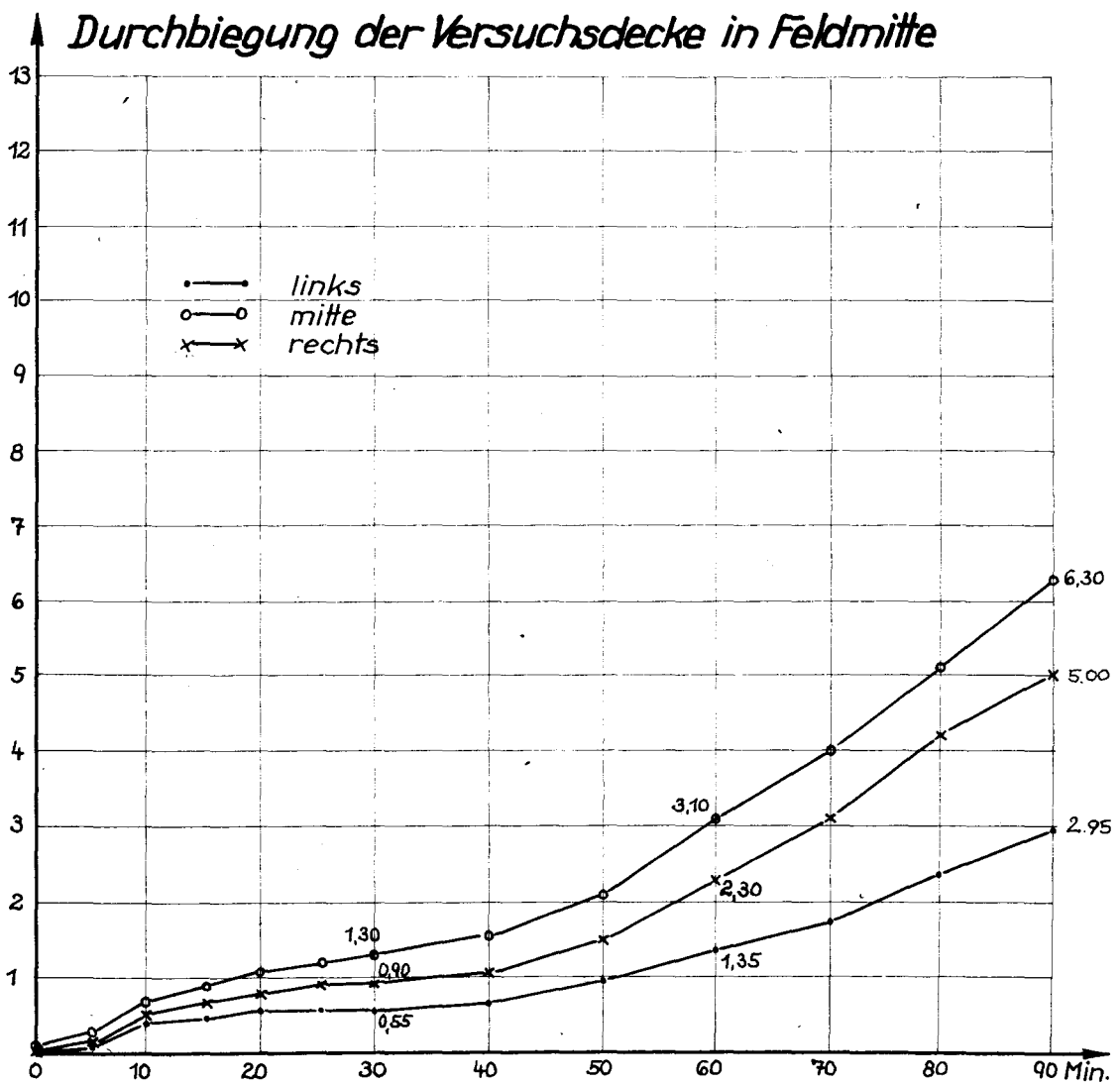
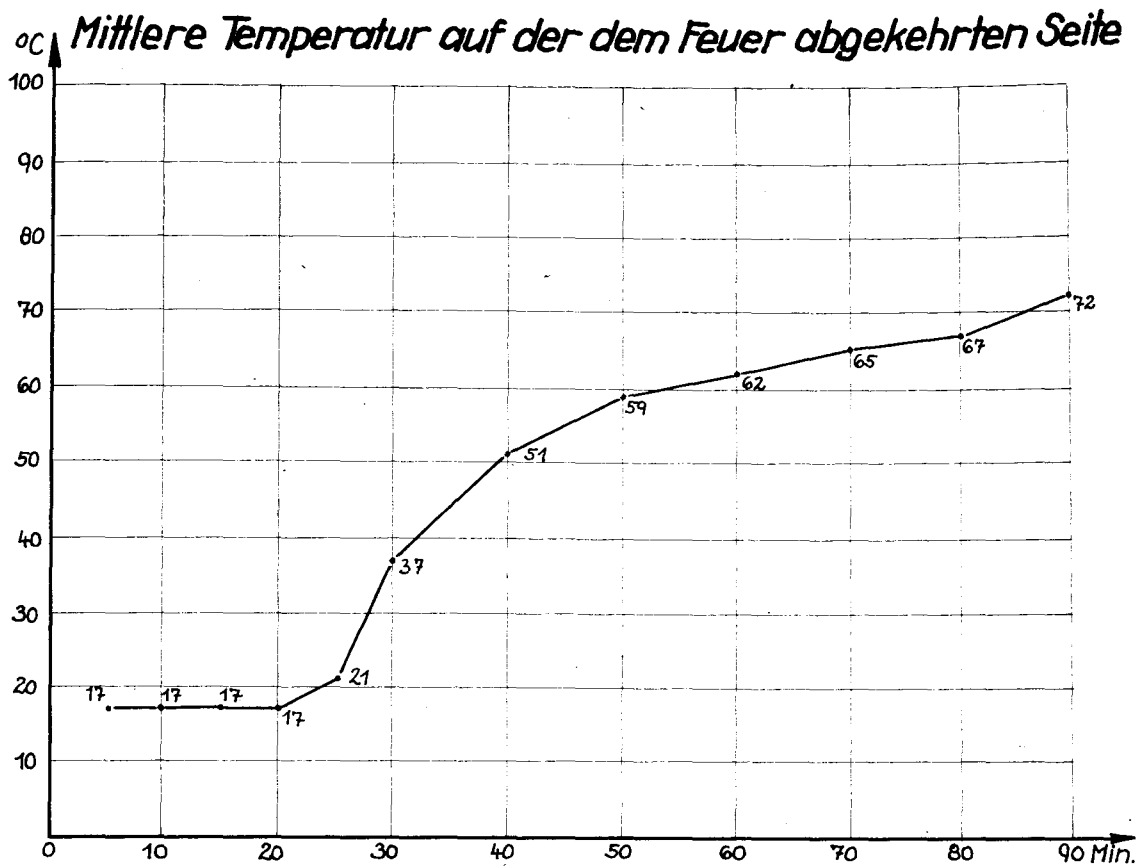
Versuchsdauer in Min.	Temperatur in der Brand- kammer °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abgekehrt.Seite °C **)	Durchbiegung der Decke in mm		
			***) links	****) Mitte	***) rechts
0	-	-	0	0,5	0
5	522	17	1,0	2	1,0
10	652	17	4,0	7	5,0
15	730	17	4,5	9	6,5
20	778	17	5,5	11	8,0
25	839	22	5,5	12	9,0
30	848	37	5,5	13	9,0
40	956	51	6,5	15	10,0
50	982	59	9,5	21	15,0
60	991	62	13,5	31	23,0
70	996	65	17,5	40	31,0
80	1001	67	23,5	51	42,0
90	1018	72	29,5	63	50,0
nach der Löschwasserprobe			29,5	63	50,0
24 Stunden nach dem Brandversuch			5,5	15	8,0
nach Entfernung der Last					

- \*) Mittel aus 6 Meßstellen  
 \*\*) Mittel aus 5 Meßstellen  
 \*\*\*) unbelastete Deckenstreifen  
 \*\*\*\*) belastete Deckenstreifen

Beobachtungen:

In der 13. Minute nach Versuchsbeginn zeigte sich auf der dem Feuer zugekehrten Seite der erste Riß zwischen zwei benachbarten Platten. Einige Minuten später traten in sämtlichen Fugen Haarrisse auf. In der 19. Minute bildete sich an den Fugen auf der dem Feuer abgekehrten Seite Kondenswasser; kurz darauf Vergrößerung der Haarrisse in den Fugen. In der 26. Minute nach Versuchsbeginn fiel in der vorderen Hälfte etwa 1 m<sup>2</sup>, in der 49. Minute etwa die Hälfte des gesamten Putzes ab. In der 90. Minute nach Versuchsbeginn wurde der Brandversuch beendet und die Versuchsdecke der Löschwasserprobe ausgesetzt. Dabei fiel der Putz fast restlos ab.





5.13 Versuchsdecke 3.13 (Decke aus Porenbetonplatten)

Zahlentafel 5

Meßergebnisse an der Versuchsdecke 3.13  
Außenlufttemperatur während des Versuches 7 °C

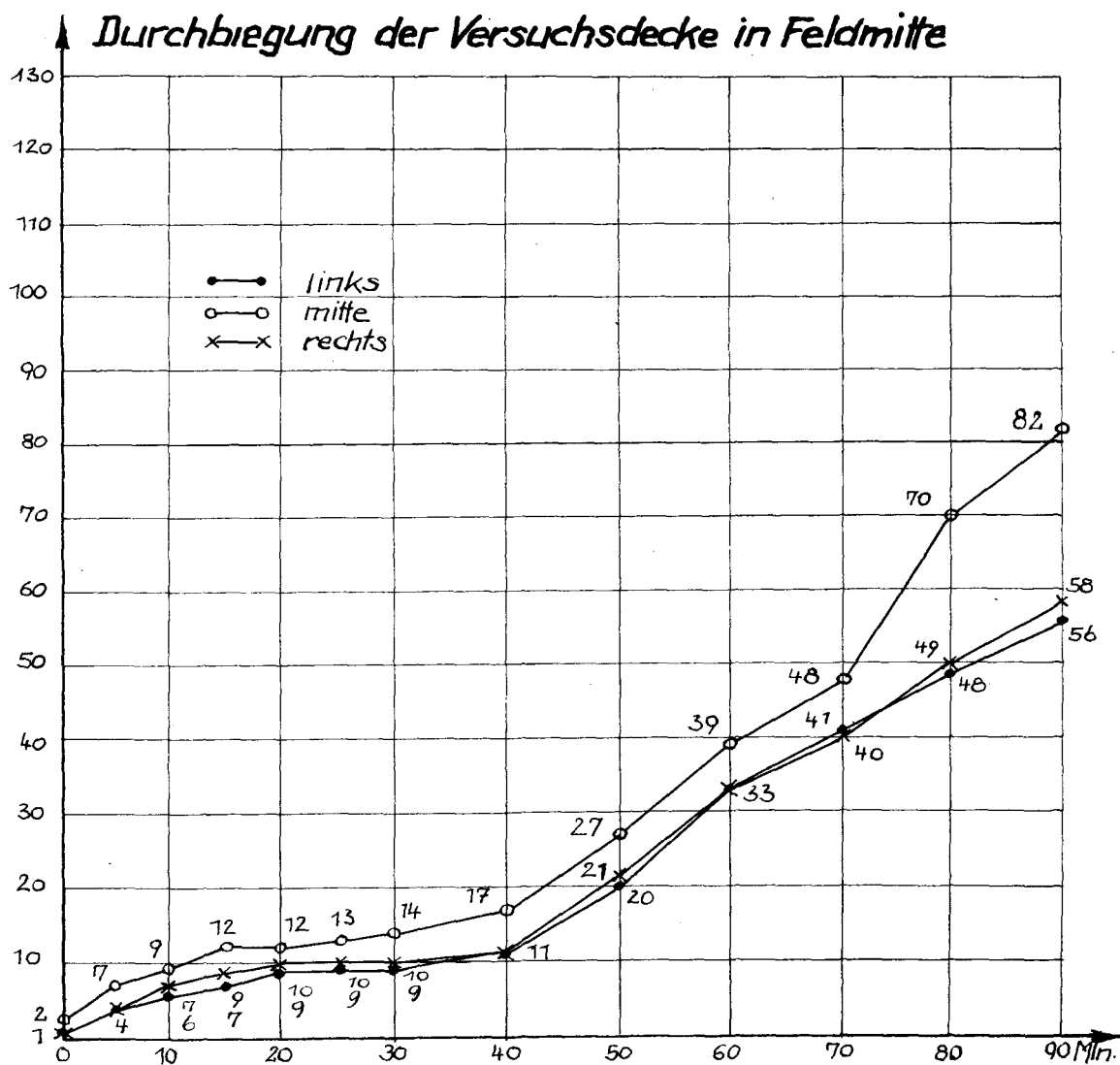
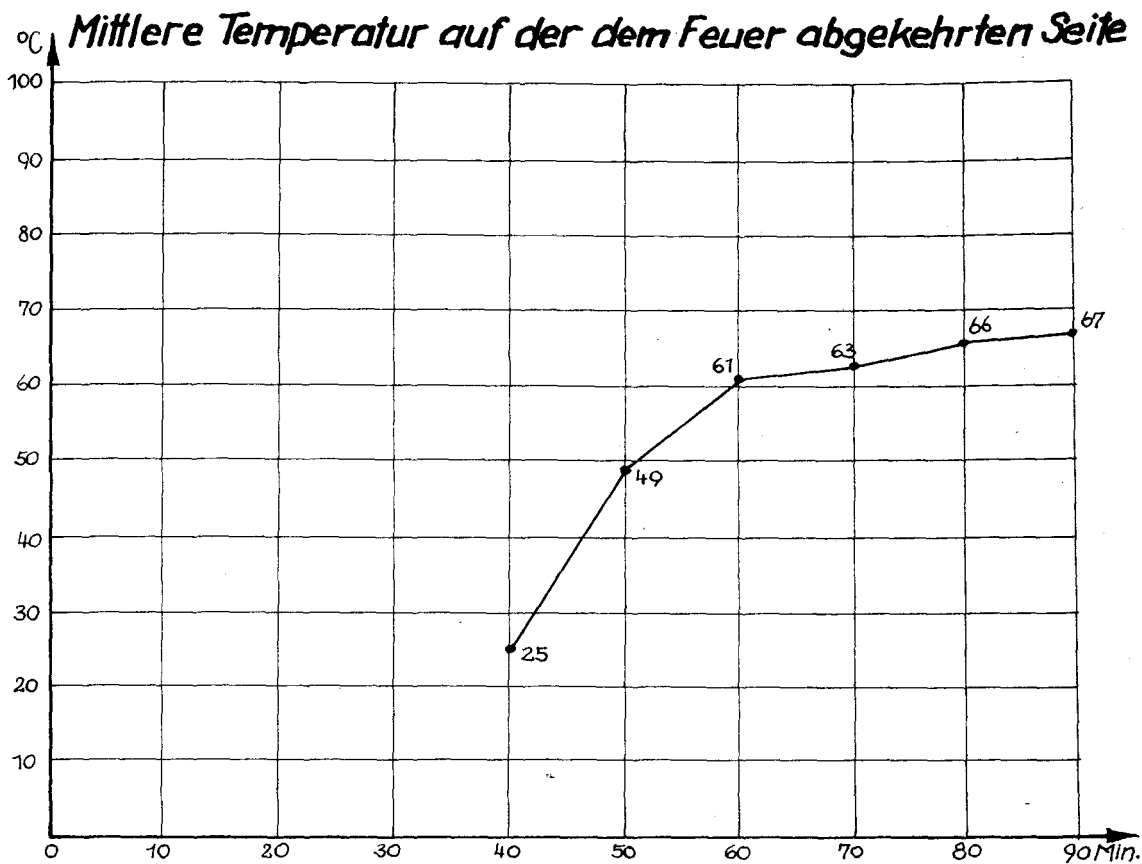
Versuchsdauer in Min.	Temperatur in der Brand- kammer °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abge- kehrten Seite °C **)	Durchbiegung der Decke in mm		
			***) links	****) Mitte	***) rechts
0	-	-	1	2	1
5	470	-	4	7	4
10	595	-	6	9	7
15	685	-	7	12	9
20	690	-	9	12	10
25	715	-	9	13	10
30	805	-	9	14	10
40	918	25	11	17	11
50	981	49	20	27	21
60	1003	61	33	39	33
70	1020	63	41	48	40
80	1025	66	48	70	49
90	1013	67	56	82	58
nach der Löschwasserprobe			62	90	67
24 Stunden nach dem Brandversuch			-4	-1,5	-3
nach Entfernung der Last					

- \*) Mittel aus 4 Meßstellen      \*\*\*) unbelastete Deckenstreifen  
\*\*) Mittel aus 5 Meßstellen      \*\*\*\*) belasteter Deckenstreifen

Beobachtungen:

In der 28. Minute nach Versuchsbeginn wurden auf der dem Feuer zugkehrten Seite der Versuchsdecke Haarrisse im Putz sichtbar und an einer Stelle fiel ein etwa 0,3 m<sup>2</sup> großes Putzstück ab. Auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Versuchsdecke bildete sich in einer Fuge Kondenswasser. In der 35. Minute rissen beide Längsfugen zwischen den Platten. Diese Risse wurden bis zur 85. Minute allmählich größer. Bei der Löschwasserprobe nach Beendigung des Brandversuches fiel der Putz restlos ab.

Die Messung der Durchbiegung der entlasteten Decke 24 Stunden nach dem Brandversuch ergab, daß die Decke sich nach oben deformiert hatte.



## 5.2 Kleinbrandversuche

Die Ergebnisse der Kleinbrandversuche sind in den Zahlentafeln 6 bis 8 zusammengestellt und in Abb. 10 graphisch aufgetragen.

### Zahlentafel 6

Meßergebnisse an der Versuchsplatte 3.21  
(Gasbetonplatte ohne Verputz unbelastet)

Außenlufttemperatur während des Versuches 70-130°C

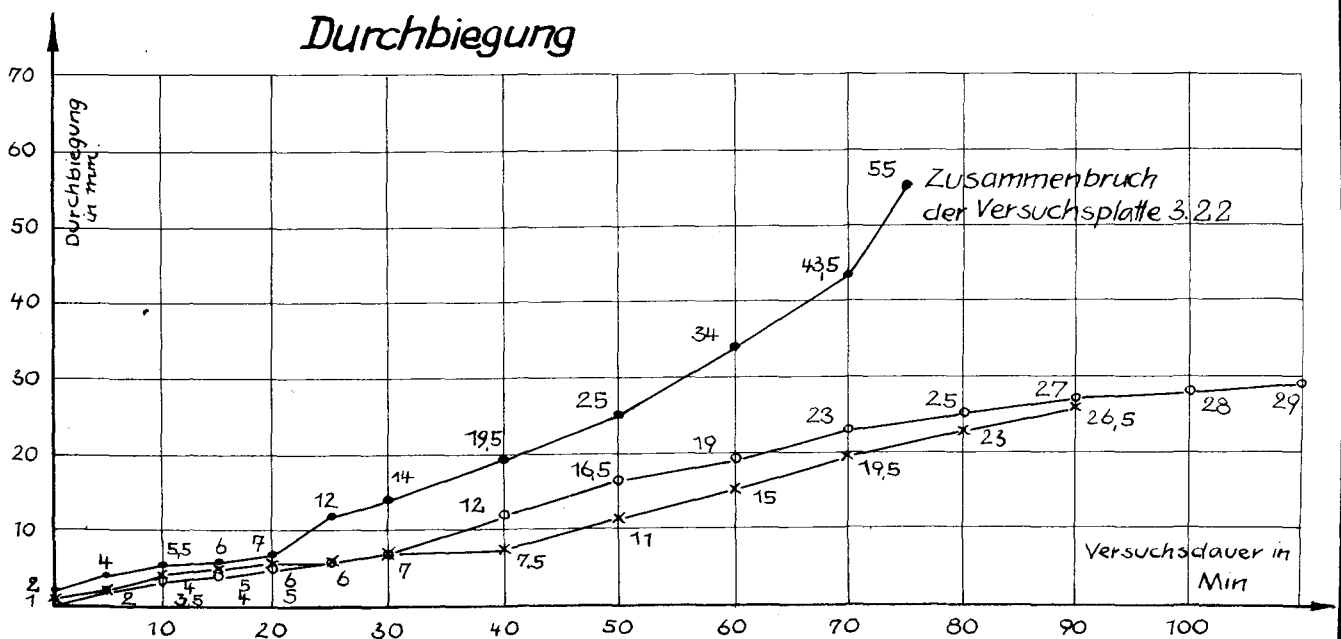
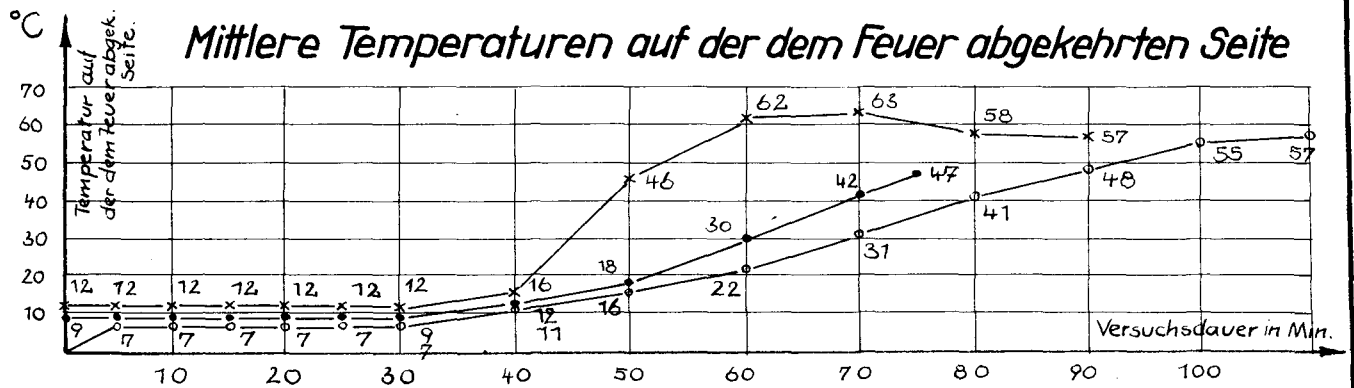
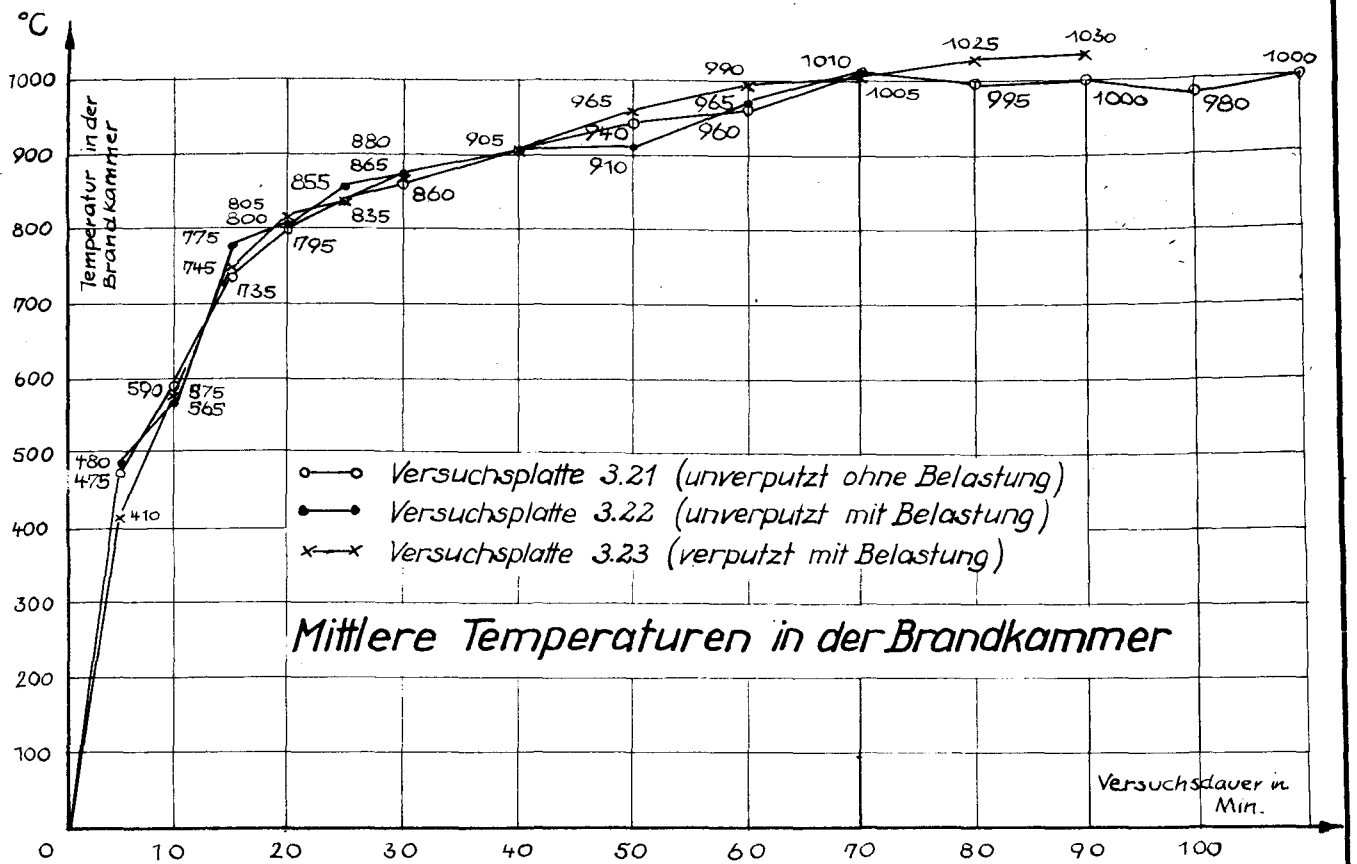
Versuchsdauer in Min.	Temperatur in der Brandkammer °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abgek. Seite °C *)	Durchbiegung in mm **)
0	-	-	-
5	475	7	2,0
10	590	7	3,5
15	735	7	4,0
20	795	7	5,0
25	835	7	6,0
30	860	7	7,0
40	905	11	12,0
50	940	16	16,5
60	960	22	19,0
70	1010	31	23,0
80	995	41	25,0
90	1000	48	27,0
100	980	55	28,0
110	1000	57	29,0
120	995	60	29,5

\*) Mittel aus 2 Meßstellen

\*\*) Durchbiegung der unbelasteten Decke = 0

### Beobachtungen:

Mit Ausnahme von netzartigen Rissen auf der dem Feuer zugekehrten Seite wurde an der Versuchsplatte während des Brandversuches nichts besonderes festgestellt.



Zahlentafel 7

Meßergebnisse an der Versuchsplatte 3.22  
(Gasbetonplatte ohne Verputz mit Belastung)  
Außenlufttemperatur während des Versuches 10° - 16°

Versuchs- dauer in Min.	Temperatur in der Brand- kammer °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C	Durch- biegung in mm **)
0	-	9	2,0
5	480	9	4,0
10	565	9	5,5
15	775	9	6,0
20	800	9	7,0
25	855	9	12,0
30	880	9	14,0
40	905	12	19,5
50	910	18	25,0
60	965	30	34,0
70	1010	42	43,5
75	-	47	55,0
79	- Zusammenbruch -		

\*) Mittel aus 2 Meßstellen

\*\*) Durchbiegung der unbelasteten Decke = 0

Beobachtungen:

Etwa 20 Minuten nach Versuchsbeginn traten auf der dem Feuer zugekehrten Seite Längsrisse auf. In der 50. Minute war die ganze dem Feuer zugekehrte Plattenseite mit Haarrissen bedeckt. Von der 70. Minute nahm die Durchbiegung schnell zu, in der 79. Minute erfolgte der Zusammenbruch.

Zahlentafel 8

Meßergebnisse an der Versuchsplatte 3.23  
(Gasbetonplatte mit Verputz und mit Belastung)  
Außenlufttemperatur während des Versuches 12° - 16 °C

Versuchs- dauer in Min.	Temperatur in der Brand- kammer °C *)	Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durchbiegung in mm  **)
		Meßst.1	Meßst.2	
0	-	12	12	1,0
5	410	12	12	2,0
10	575	12	12	4,0
15	745	12	12	5,0
20	805	12	12	6,0
25	835	12	12	6,0
30	865	12	12	7,0
40	905	16	16	7,5
50	965	32	57	11,0
60	990	47	75	15,0
70	1005	52	68	19,5
80	1025	52	62	23,0
90	1030	52	60	26,5

\*) Mittel aus zwei Meßstellen

\*\*) Durchbiegung der unbelasteten Decke = 0 mm

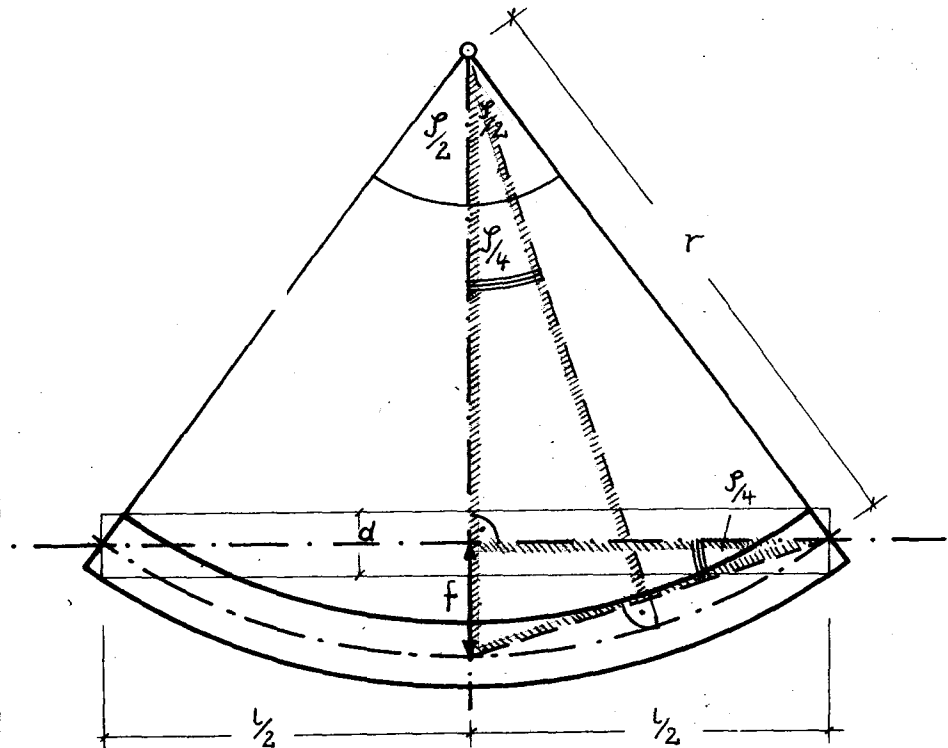
Beobachtungen während des Brandversuches.

Bis zur 65. Minute nach Versuchsbeginn waren am Putz auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Versuchsplatte keinerlei Veränderungen festzustellen. In der 70. Minute wurden im Putz zwei deutlich sichtbare, kräftige Querrisse beobachtet. Putzstücke fielen nicht ab.

## 6. Auswertung der Meßergebnisse

Die Großbrandversuche an den drei Versuchsdecken 3.11, 3.12 und 3.13 ergaben, daß sich die belasteten Mitteldeckenstreifen während der 1 1/2 stündigen Brandversuche stärker deformierten als die unbelasteten Randstreifen. Der Unterschied in der Durchbiegung war aber bei allen drei Decken wesentlich geringer als die Deckendicke, so daß die Gefahr des Durchschlagens von Flammen durch die Deckenfugen nicht bestand.

Wie aus den Kurven in den Abb. 7, 8 und 9 zu ersehen ist, war ein großer Unterschied in den Durchbiegungen zwischen unbelasteten und belasteten Deckenstreifen im Verhältnis zu der gesamten Durchbiegung nicht festzustellen. Allerdings war bei den Großbrandversuchen nicht zu ermitteln, wie stark sich die Belastung und wie stark sich der Temperaturunterschied auf die Durchbiegung auswirkten, da durch die in den Fugen zwischen belasteten und unbelasteten Deckenteilen wirkenden Reibungskräfte ein Teil der Belastung auch auf die "unbelasteten" Randstreifen übertragen wurde. Die Größenordnung der Durchbiegung einer Decke infolge einseitiger Erhitzung läßt sich bei Annahme eines linearen Temperaturgefälles zwischen der dem Feuer zugekehrten und abgekehrten Seite durch nachfolgende Rechnung in etwa ermitteln.



In Abb. 11 bedeuten:

- l = Spannweite der Decke
- f = Durchbiegung der Decke in Feldmitte
- d = Dicke der Decke
- $\alpha$  = linearer Ausdehnungskoeffizient des Baustoffes
- $\Delta t$  = Temperaturgefälle in der Decke.



Aus einer geometrischen Überlegung ergibt sich die Durchbiegung  $f$  wie folgt.

$$f = r \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} \sim \frac{\varphi}{4} \sim \frac{1}{4r} \quad (\text{sehr kleiner Winkel})$$

$$f = \frac{12}{8r} \quad (1)$$

In Gleichung (1) ist  $r$  zunächst unbekannt und muß aus dem Längenunterschied der Randfasern berechnet werden.

$$\frac{r}{1} = \frac{r + \frac{d}{2}}{1 + \frac{\Delta l}{2}} \quad \longrightarrow \quad r = \frac{1 \cdot d}{\Delta l} \quad (2)$$

Gleichung (2) geht durch Einsetzen von  $\Delta l = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot l$  in

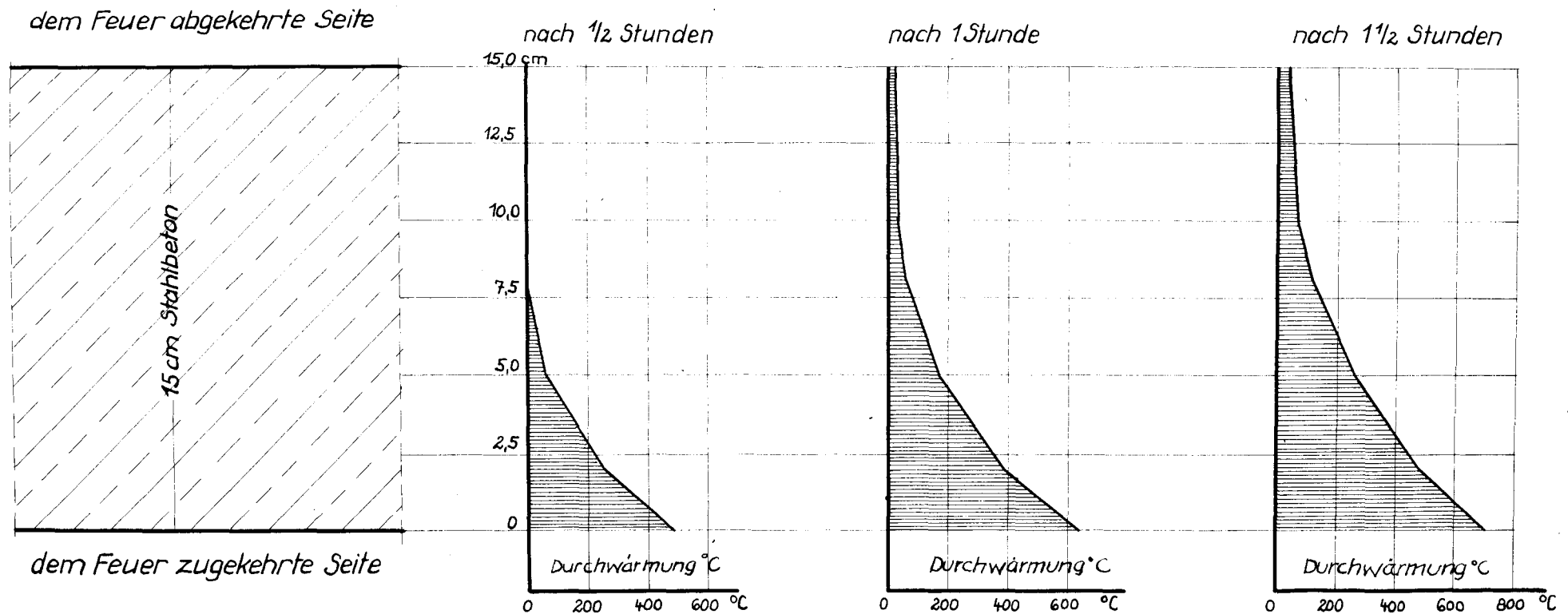
$$r = \frac{1 \cdot d}{\alpha_t \cdot \Delta t \cdot l} = \frac{d}{\alpha_t \cdot \Delta t} \quad \text{über} \quad (3)$$

Gleichung (3) in Gleichung (1) eingesetzt ergibt.

$$f = \frac{12}{8r} = \frac{12 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t}{8 d} \quad (4)$$

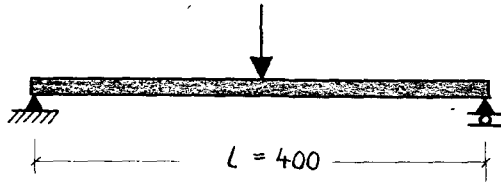
Die vorstehende Ableitung geht, wie bereits erwähnt, von der Annahme eines linearen Temperaturgefälles in der Versuchsdecke aus. Dieses Gefälle wird bei Brandversuchen an mineralischen Decken (z.B. Beton) wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit im allgemeinen erst nach längerer Versuchsdauer vorhanden sein. Nach Busch (1) treten z.B. in einer 15 cm dicken Betonplatte, die einseitig Temperaturen nach der amerikanischen Einheitstemperaturkurve \*) ausgesetzt ist etwa die in Abb. 12 dargestellten Temperaturverteilungen auf. Bei einer Decke mit Hohlräumen (z.B. Hohlbalkendecke 3.11) wird aber die Gleichung (4) mit verhältnismäßig großer Genauigkeit anwendbar sein, da hier zwischen Ober- und Untergurt ein fast "lineares" Temperaturgefälle besteht. In dem nachfolgenden Beispiel wird die Durchbiegung unter der rechnerisch zulässigen Last der Durchbiegung aus einem Temperaturgefälle von 400°C gegenübergestellt.

\*) Die amerikanische Einheitstemperaturzeitkurve (ASTM E-119) entspricht im großen und ganzen der Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN 4102.



**Abb. 12** Durchwärmung einer 15 cm dicken, unverputzten Stahlbetonplatte, die einseitig durch Temperaturen nach der Einheitstemperatur = zeitkurve beansprucht wird. (berechnet nach [1])

Beispiel: Durchbiegung einer Hohlbalkendecke (vgl. Decke 3.11) unter Last und bei einseitiger Hitzebeanspruchung



$P = 320$  kg (diese Last ist gerade so groß, daß in der Decke die rechnerisch zulässigen Spannungen erzeugt werden).

$$l = 400 \text{ cm}$$

$$d = 16 \text{ cm}$$

$$J = 27\,350 \text{ cm}^4 \text{ (bezogen auf 1 m Deckenbreite)}$$

$$E = 210\,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (nach DIN 1045 § 17)}$$

$$\alpha_t = 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{ nach Endell [2]}$$

$$\Delta t = 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

a) Durchbiegung unter einer Last  $P = 320$  kg

$$f = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J} = \frac{320 \cdot 400^3}{48 \cdot 210\,000 \cdot 27\,350} = \underline{\underline{0,075 \text{ cm}}}$$

b) Durchbiegung infolge Temperaturgefälle von  $400^\circ\text{C}$

$$f = \frac{l^2}{8} \cdot \frac{\alpha_t \cdot \Delta t}{d} = \frac{400^2}{8 \cdot 16} \cdot 10^{-5} \cdot 400 = \underline{\underline{5,0 \text{ cm}}}$$

An diesem kleinen Beispiel ist zu sehen, daß bei einem Brande die Durchbiegung infolge ungleichmäßiger Temperaturverteilung in einer Stahlbetondecke zunächst erheblich größer ist als die Durchbiegung unter der Belastung. Aus diesem Grunde treten auch keine oder nur sehr geringe Unterschiede in der Durchbiegung zwischen belasteten und unbelasteten Decken beim Beginn eines Brandversuches auf. Bei längerer Dauer des Brandes ändern sich jedoch die gemachten Voraussetzungen, wie folgt:

a) Der E-Modul des Betons nimmt ab.

b) Das Verhältnis  $n = \frac{E_e}{E_b}$  wird größer, da  $E_b$  schneller abnimmt als  $E_e$ . Damit verschiebt sich die Nulllinie nach oben und im Stadium II (gerissene Zugzone) wird das Trägheitsmoment der nicht gerissenen Druckzone schnell kleiner. (Zunahme der Durchbiegung!)

Da diese Veränderungen rechnerisch schwer zu erfassen sind, wurden Kleinbrandversuche an den Versuchsplatten 3.11 bis 3.23 durchgeführt, um einen ungefähren Überblick über die geschilderten Vorgänge zu gewinnen. Aus den Durchbiegungskurven der Kleinbrandversuche (Abb. 10 und 13) ist folgendes zu ersehen:

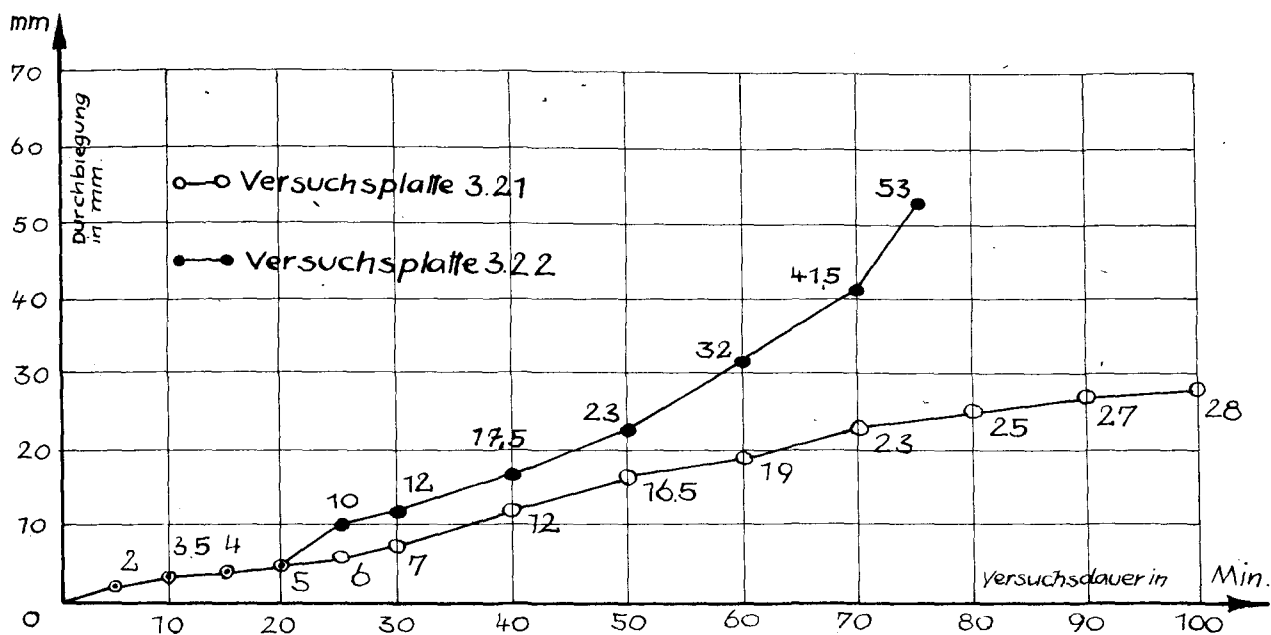
Die Kurven der Versuchsplatten 3.21 und 3.22 verlaufen zunächst etwa 20 Minuten lang annähernd parallel, von der 25. Minute an steigt dann die Kurve 3.22 (belastete Platte) rascher an. Die Differenz der Ordinaten zwischen den Kurven 3.22 und 3.21 gibt im wesentlichen den Einfluß der Belastung auf die Durchbiegung an. Während die belastete Platte 3.22 sich schneller durchbiegt und schließlich zusammenbricht, läuft die Deformation der unbelasteten Platte einem Grenzwert zu, der dann erreicht wird, wenn in der Platte der Wärmeausgleich eingetreten ist d.h. wenn auch die Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Platte nicht mehr ansteigen.

Abb. 10 zeigt auch, daß die verputzte Platte 3.23 eine wesentlich geringere Durchbiegung hatte als die Platte 3.21. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Durchwärmung der Platte durch den Putz wesentlich verzögert wurde.

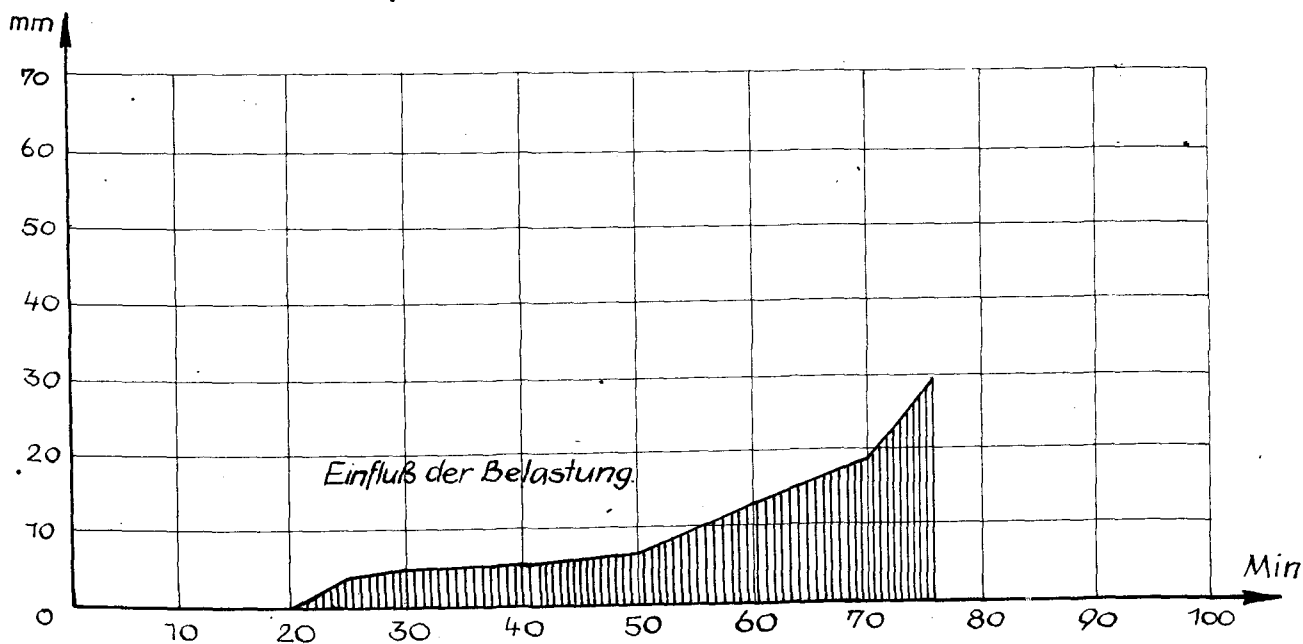
## 7. Zusammenfassung

Bei Brandversuchen an Deckenkonstruktionen treten im allgemeinen starke Durchbiegungen auf. Es sollte festgestellt werden, ob diese Durchbiegungen im wesentlichen durch die Belastung oder durch das Temperaturgefälle in den Decken hervorgerufen werden. Im ersten Falle besteht die Möglichkeit, daß sich Deckenkonstruktionen ohne Querverteilung, z.B. aus nebeneinanderliegenden Balken oder Platten, bei teilweiser Belastung ungleichmäßig deformieren. Wird der Unterschied in der Durchbiegung zwischen belasteten und unbelasteten Deckenteilen größer als die Dicke der Decken tritt die Gefahr des Durchschlagens von Flammen ein.

# Zunahme der Durchbiegung bei den Versuchsplatten 3.21 und 3.22



## Differenz der Durchbiegungen der Versuchsplatten 3.21 und 3.22



Zur Untersuchung dieser Fragen wurden Großbrandversuche an drei Versuchsdecken aus Platten- und Balkenkonstruktionen durchgeführt, und außerdem der Einfluß der Belastung auf die Durchbiegung von Deckenplatten aus Porenbeton bei drei Kleinbrandversuchen festgestellt.

Die Versuche ergaben, daß etwa in der ersten halben Stunde nach Beginn des Brandes die Durchbiegung durch den Temperatureinfluß die Durchbiegung infolge der Belastung bei weitem überwiegt, bei längerer Versuchsdauer dann aber die Deformation an der Belastung stark zunimmt. Die Ursache ist wahrscheinlich in einer starken Abnahme des E-Moduls des Betons und einer Vergrößerung des Verhältnisses

$n = \frac{E_e}{E_b}$  zu suchen.

Ein Durchtreten von Flammen wurde während der 1 1/2 stündigen Prüfzeit bei keiner Decke festgestellt, es ist aber möglich, daß bei längerer Versuchsdauer ungünstigere Ergebnisse auftreten.

Schrifttum

- [1] H. Busch "Feuereinwirkung auf nicht brennbare Baustoffe und Baukonstruktionen" Zementverlag Berlin 1938.
- [2] K. Endell "Versuche über Längen- und Gefügeänderung von Betonszuschlagstoffen und Zementmörteln unter Einwirkung von Temperaturen bis 1200°C" Deutscher Ausschluß für Stahlbeton, Heft 60